

ANÁLISIS CUALITATIVO DE APLICACIONES DE REALIDAD VIRTUAL EN EMPRESAS MANUFACTURERAS USANDO INVESTIGACIÓN BIBLIOMÉTRICA: UN ESTUDIO DE LA PERSPECTIVA LATINOAMERICANA

Patricia Rocio Durañona Aznar ¹
Carlos Alberto Costa ²

RESUMEN: La aplicación de Realidad Virtual como herramienta de simulación para el apoyo a la manufactura se ha destacado en el contexto de la Industria 4.0. Este trabajo apunta al estudio de los factores cualitativos, expuestos como categorías de análisis, importantes de ser considerados en cuanto a la aplicación de Realidad Virtual en la manufactura. El estudio obedece al método de revisión bibliográfica, siendo realizada a través del empleo de las palabras clave: Realidad Virtual, manufactura, Industria 4.0 e industrial, siendo encontrados 74 artículos de interés para el mismo. El análisis de los artículos permitió la identificación de 44 artículos clasificados en 6 categorías de aplicación de la Realidad Virtual: Desarrollo de Producto, Desarrollo de Proceso, Higiene y Seguridad Industrial, Logística, Verificación de Calidad, y Entrenamiento para manutención. Este estudio demuestra que la aplicación de Realidad Virtual dentro de la manufactura sólo puede revelar todo su potencial dentro de empresas con procesos optimizados y objetivos compatibles con la transición a la Industria 4.0. Un análisis dentro del escenario de Latinoamérica fue también realizado. Como sugerencia para futuros estudios, se puede considerar un estudio cuantitativo del tipo survey, y la evaluación de la madurez organizacional necesaria para la implementación de tecnologías 4.0.

PALABRAS CLAVE: Realidad Virtual. Manufactura. Industria 4.0. Industrial. Latinoamérica.

¹ Académica del curso de Ingeniería de Producción en la Universidad de Caxias do Sul, facultad de Ciencias Exactas e Ingenierías - paroduaz@hotmail.com

² Doctor en Ingeniería de Manufactura por la Loughborough University de Inglaterra, profesor titular en la Universidad de Caxias do Sul, Facultad de Ciencias Exactas e Ingenierías - cacosta@ucs.br

1 INTRODUCCIÓN

La herramienta de Realidad Virtual (RV) es una de las ramificaciones más populares de la Tecnología de Información (TI) que nos propone la interacción en ambientes virtuales a través de estímulos sensoriales, pudiendo colocar a los usuarios en situaciones basadas en la realidad. (CHOI, et al., 2015). Esta herramienta posee variadas aplicaciones, entre las que se encuentran (PENG et al., 2020): entretenimiento, medicina, pedagogía, psicología, entre otros.

La Industria 4.0 nos ha planteado la aplicación de esta herramienta para usos más sofisticados en el ámbito industrial, específicamente en mejoría de procesos de manufactura, desarrollo de producto, como también la evaluación de capacidad y riesgo de operarios, por mencionar las aplicaciones más conocidas (TOTVS, 2019). La también conocida como Cuarta Revolución Industrial, surge como una estrategia para garantizar la competitividad de la industria alemana, esta tiene como pilar la investigación e innovación como medio para el desarrollo de tecnologías de gran valor para las empresas. (SANTOS et al., 2020), siendo descrita como la integración de máquinas físicas y softwares por medio de dispositivos de red para mejorar sistemas de producción y negocios, teniendo como principal motivo de relevancia, atender con calidad, rápida entrega y precio competitivo a las demandas de mercado que se encuentran orientadas hacia la personalización (MRUGALSKA; WYRWICKA, 2017).

Dentro de los pilares de la Industria 4.0, se encuentra la simulación virtual, destacándose dentro de ella la herramienta de Realidad Virtual (RV), que actúa como auxiliar en el desarrollo de nuevas formas de optimizar procesos de manufactura, a través de la reducción de gastos, plazos de entrega más cortos y mejoría en la calidad de los procesos y productos. (NEE; ONG, 2013). Así, es posible afirmar que las organizaciones y empresas que visen incluir dichas herramientas pueden obtener una mayor competitividad y eficiencia. (OJSTERSEK *et al.*, 2019).

Si bien, la herramienta de Realidad Virtual promete varios beneficios, es indispensable considerar que, como toda herramienta tecnológica, puede poseer limitaciones, como, por ejemplo, las relativas a la precisión de simulaciones y a la fluidez en los procesos de desarrollo de estas. (WOLFASRTSBERGER *et al.*, 2018). Empresas y organizaciones de diversas naturalezas, utilizan la Realidad Virtual como medio para resolver o facilitar diferentes desafíos a los cuales se enfrentan, siendo así, una herramienta altamente flexible en términos de campos de aplicación como medicina (HÖLLER *et al.*, 2020), educación (SÁNCHEZ-CABRERO *et al.*, 2019) y manufactura (GRAJEWSKI *et al.*, 2013). Dentro de la manufactura, la variedad de aplicaciones ofrecidas por esta herramienta va desde la creación de prototipos y revisión de diseño de forma realística desde las fases más tempranas de diseño (WOLFARTSBERGER *et al.*, 2020) hasta la mejoría en procesos de manutención industrial, siguiendo indicadores de la industria 4.0 (HAVARD *et al.*, 2019).

Hoy existen casos exitosos de aplicación de dicha herramienta en diferentes empresas multinacionales, lo que ha disparado la popularidad de esta; como por ejemplo en los casos de Kellogg 's (SWEENEY, 2019) y Ford (FRANGOUL, 2020). Esto ha creado un ambiente de curiosidad por conocer los verdaderos beneficios de aplicar Realidad Virtual en diferentes ámbitos, especialmente, en el área de manufactura para empresas de menor porte, ya que la mayor parte de los relatos de éxito están asociados a grandes empresas como multinacionales. En ese caso, las experiencias son generadas por proveedores de esta herramienta, como planteamiento y no como un reflejo de éxito real, es decir, indican los beneficios que grandes empresas obtuvieron en la aplicación, pero sin usar como referencias a las empresas a las cuales ofrecen sus servicios.

Sin embargo, no todo es favorable. El éxito de aplicación de herramientas de la Industria

4.0 se ve afectada también por reticencia a cambios en la estructura organizacional, por el alto nivel de capacitación que podría implicar desarrollar ambientes de Realidad Virtual y la facilidad con la que informaciones sean filtradas (HALL, 2020). Otro aspecto es la dificultad para mensurar los beneficios económicos, debido a que todos los artículos estudiados apuntan a usos principalmente predictivos y preventivos (BOEING, 2019; AIRBUS, 2019). La suma de todos los factores antes mencionados lleva a que las empresas que quieren embarcarse en el uso de esta tecnología lo hagan con bastante incertidumbre.

El presente estudio propone un levantamiento de la actual situación de aplicación de la Realidad Virtual en la industria, haciendo una consideración en específico dentro de Latinoamérica. Para eso, el estudio se basa en la aplicación del método de investigación bibliométrica, donde se recopilaron artículos académicos y periodísticos relacionados al tema. A partir de esto, fueron clasificados y medrados los artículos existentes para sus diferentes campos de actuación.

Fueron consideradas, inicialmente, las posibles áreas de utilización y aplicación de la Realidad Virtual, como, por ejemplo: manufactura, medicina, marketing y educación.

Para posterior clasificación, hubo un enfoque en los artículos clasificados en el campo de manufactura, y fueron reclasificados en aplicaciones como: Desarrollo de Producto, Desarrollo de Proceso, Higiene y Seguridad Industrial, Logística, Verificación de Calidad, y Entrenamiento para manutención. Con base en esta muestra, partiendo de las informaciones recopiladas y adicionando la palabra clave: Latinoamérica, fue posible extraer informaciones sobre la aplicación de Realidad Virtual en Latinoamérica y la información disponible sobre la implementación de esta. Además, fueron analizadas en la investigación, las dificultades y casos exitosos de usos de Realidad Virtual, obteniendo así, un resultado de investigación de tipo cualitativo y exploratorio. Para el estudio fueron utilizadas las siguientes fuentes de investigación: Research Gate, Science Direct y Scopus, todas por medio del Portal de Periódicos CAPES.

La siguiente sección presenta una breve explicación de la metodología aplicada y, en secuencia, es presentado el análisis de resultados obtenidos en la investigación bibliométrica, el cual contiene un análisis general de todos los artículos consultados y sus países de origen, así como sus campos de aplicación, una breve discusión sobre los artículos orientados a Realidad Virtual aplicados a la manufactura. Finalmente, se expone una discusión de resultados finales describiendo la situación de la Realidad Virtual en la manufactura a nivel mundial y Latinoamérica, así como una conclusión sobre este estudio.

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo, fue realizada una investigación bibliométrica (SNYDER, 2019), donde fueron definidas las siguientes etapas: lectura preliminar sobre el asunto de interés, definición del área abarcada en el estudio, definición de palabras clave, fuentes de consulta y periodos de análisis.

La lectura preliminar consistió en consultar artículos de interés sobre un tema general, en este caso siendo Realidad Virtual, donde fue posible observar las aplicaciones generales y las informaciones disponibles sobre el asunto. De forma general, fueron leídos 74 artículos, siendo que los de mayor destaque fueron Berg & Vance (2016), Choi *et al.* (2015) y Damiani *et al.* (2018). Una vez realizada la lectura preliminar, fue posible apropiarse de conceptos relativos a la Realidad Virtual, adquiriendo este trabajo un enfoque en el área de manufactura.

Partiendo de esta primera fase, fueron determinadas las palabras claves para la realización de la investigación, siendo éstas definidas como: Realidad Virtual, manufactura, industria 4.0 e industrial. La investigación fue realizada también en inglés, utilizando las palabras

clave: Virtual Reality, manufacturing, industry 4.0 e industrial. En Figura 1, se representa como fue realizada la investigación utilizando operadores booleanos del tipo “AND” (&).



Figura 1: Términos de investigación asociados en la forma “AND”

Fuente: Los autores (2020)

Como se expresó anteriormente, fueron utilizadas las fuentes de consulta: ScienceDirect, Scopus y ResearchGate. Siendo que, además de las ya mencionadas, debido a que la propuesta de este trabajo visa discutir situaciones de aplicaciones más prácticas en las empresas, también fueron consultados artículos en Google Académico. Fue definido el periodo de tiempo en el cual los artículos consultados fueron publicados, siendo estos a partir del año 2010 hasta mayo del 2020. Fueron considerados, además de artículos académicos en revistas, conferencias internacionales y artículos periodísticos. Los artículos fueron estudiados por los autores.

Para el proceso de selección de artículos, fueron definidas las siguientes especificaciones (SNYDER, 2019):

- El análisis del título del artículo, seleccionando así los artículos con el título asociado al tema de investigación de este artículo. Los artículos que no poseían alineamiento fueron apartados;
- Análisis del resumen del texto, identificando artículos que traen contenidos asociados al tema de investigación. Los artículos que no poseían alineamiento fueron apartados;
- Lectura completa de los artículos para su comprensión, estudio y clasificación por campo de estudio. Los artículos que no seguían el alineamiento fueron apartados.

Con base en este proceso de selección, de la lectura de 74 artículos, se obtuvo un resultado de 44 artículos que presentan estudios sobre el empleo de Realidad Virtual en el área de manufactura. Estos resultados son discutidos y analizados, como se observa en el desarrollo de este trabajo.

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS GENERAL DE LOS ARTÍCULOS

En la Figura 2 se muestra una clasificación de los 74 artículos obtenidos a partir de una primera investigación, donde exponen los países de origen y las áreas de estudio. La mayor parte de los estudios se encuentran vinculados a las áreas de manufactura (44) y medicina (18), siendo Alemania, con 9 artículos, el país con más publicaciones sobre Realidad Virtual, seguido de Estados Unidos y Polonia, ambos con 5 artículos cada uno. En seguida aparecen China e Italia con 4 artículos cada uno.

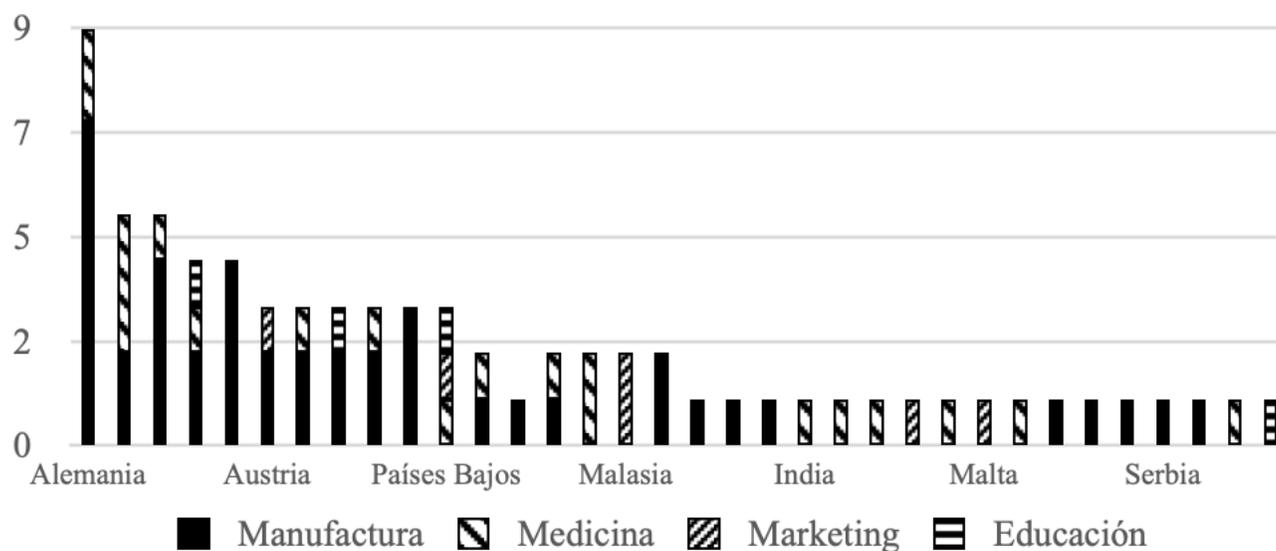


Figura 2: Artículos por país y área de publicación.

Fuente: Los autores.

En la Figura 3 se ilustra la cantidad de publicaciones sobre Realidad Virtual por año, considerando un intervalo de 9 años, que va desde enero del 2011 a mayo del 2020. Es posible notar un gran aumento de publicaciones Realidad Virtual a partir del año 2017 con 12 artículos, teniendo un pico en el año 2019, con 24 artículos.

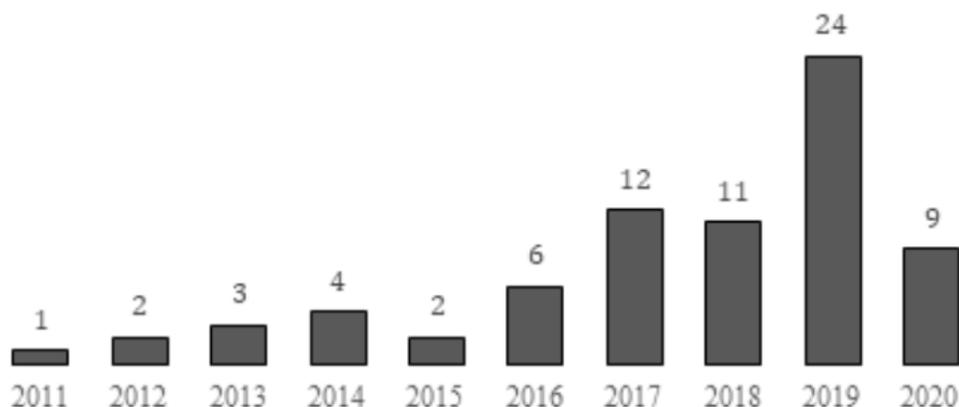


Figura 3: Distribución de publicaciones entre los años 2011 y 2020.

Fuente: Los autores.

En la Figura 4, es posible ver la distribución de artículos por origen institucional, siendo provenientes de universidades, centros de Investigación gubernamentales y de empresas privadas. La mayor parte de los artículos son producidos por universidades (83%), una menor parte se divide entre empresas (9%), como, por ejemplo, Volvo y LG siendo que la última parte, proviene de laboratorios de investigación vinculados al gobierno (8%).

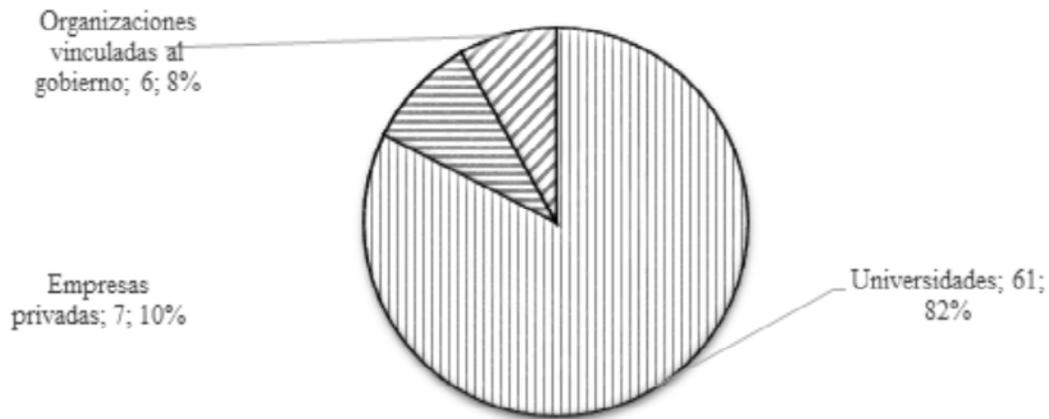


Figura 4: Distribución de artículos por origen institucional.

Fuente: Los autores.

La Figura 5 provee información sobre las combinaciones de palabras clave utilizadas para la investigación y la cantidad de artículos provenientes de esas combinaciones, así como las bases de datos en los cuales se encontraron los artículos. Es posible observar, que la mayor parte de los artículos surgieron de la combinación Virtual Reality y Manufacturing, siendo Science Direct la base de datos con mayor frecuencia en la generación de resultados.

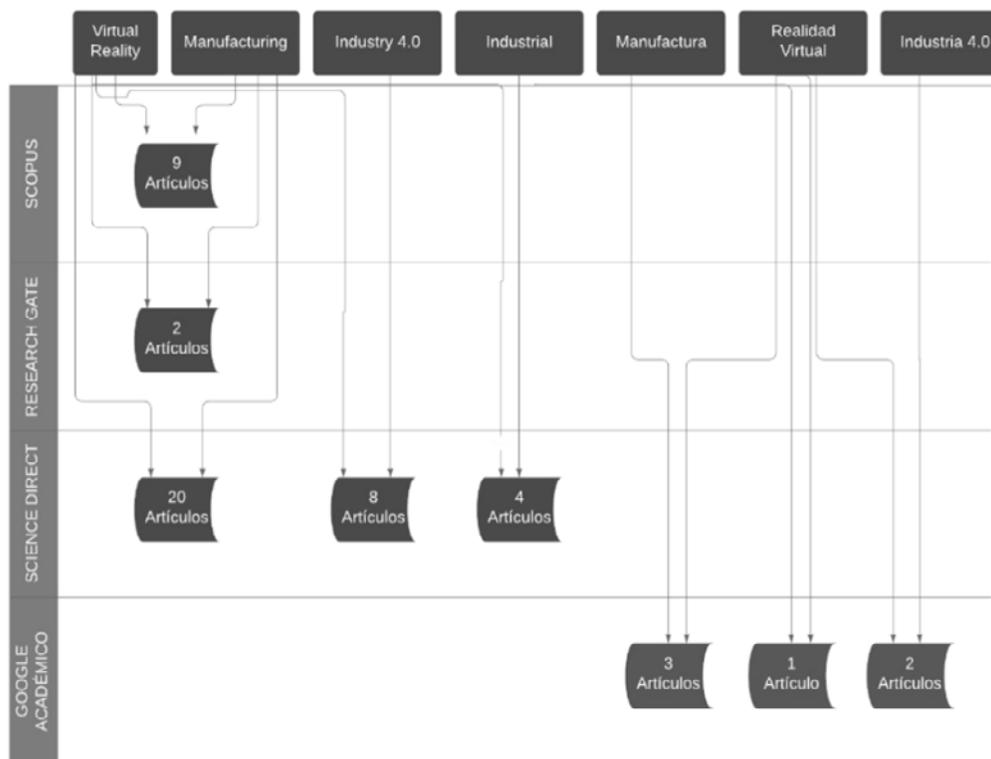


Figura 5: Distribución de artículos por combinación de palabras clave y base de datos.

Fuente: Los autores.

Hasta este punto, fue posible establecer elementos iniciales para la conformación de este artículo de investigación académica, como el tema, objetivos, fundamento, metodología y un breve análisis de los artículos fruto de una investigación más general. En la siguiente sección se dará paso al análisis detallado de los artículos encontrados sobre Realidad Virtual en el área de manufactura, sus características, aplicaciones, resultados de investigación, así como las convergencias y divergencias que puedan aparecer en las diferentes conclusiones en la literatura.

3.2 EVALUACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL ENFOCADA EN LA MANUFACTURA

El empleo de Realidad Virtual dentro de la manufactura es reconocido por brindar apoyo a diferentes subáreas dentro de la misma (ELBERT *et al.*, 2019). Éste trabajo identificó seis diferentes áreas, que son mostradas en la Figura 6.

Entre las aplicaciones en logística, es interesante mencionar el trabajo de Golda *et al.* (2016), que expone la aplicación de Realidad Virtual en la concepción y evaluación de procesos logísticos enfocándose en las tendencias de desarrollo que van más allá de la empresa. Dentro del Desarrollo de Producto, es interesante destacar el estudio de Mandic *et al.* (2013) que habla de la utilización de Realidad Virtual como parte de un sistema integrado basado en modelos para la elaboración de prototipos rápidos/digitales. En el Desarrollo de Proceso, Yap *et al.* (2019) explica la aplicación de Realidad Virtual para la implementación de un interfaz humano-máquina, a través del establecimiento de una célula robot programable para evitar problemas de seguridad y hacer frente a la falta de capacitación del personal. Un ejemplo de verificación de calidad se muestra en el trabajo de Marzano *et al.* (2015) que atribuye al uso de Realidad Virtual la posibilidad de que diseñadores evalúen los procesos de montaje y desmontaje en las primeras etapas de diseño para garantizar la efectividad de los procesos en el ambiente real. En las aplicaciones dirigidas al entrenamiento para mantenimiento, fue estudiada su aplicación orientada a la industria aeronáutica, que, como Eschen *et al.* (2018) explica, permite la capacitación para la percepción de potenciales errores o defectos causados por el uso en los aviones. Finalmente, el área de Higiene y Seguridad Industrial se puede ejemplificar con el caso de Isleyen y Duzgun (2019), que expone la posibilidad de capacitación a través de Realidad Virtual para toma de decisiones rápidas ante situaciones de peligro, por vía del conocimiento sobre las fallas y potenciales medidas de mitigación en túneles.

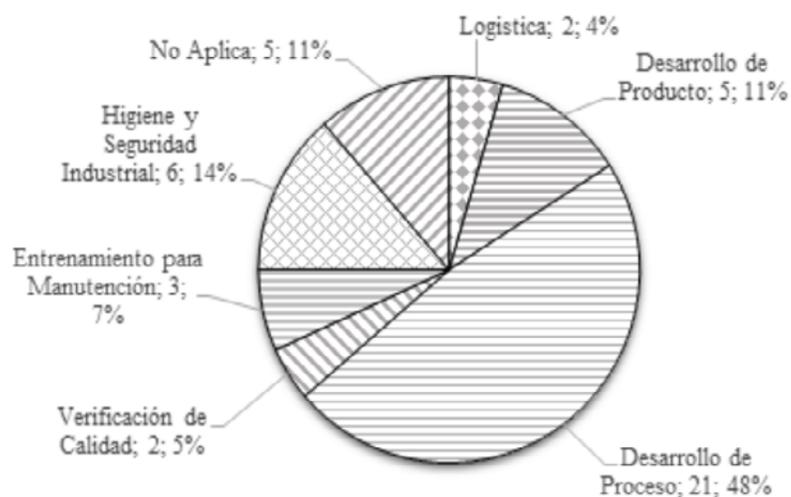


Figura 6: Subáreas de aplicación de Realidad Virtual en la manufactura, encontradas en los artículos consultados para este estudio. Fuente: Los autores.

Finalmente existe un área de clasificación designada como No Aplica, que abarca estudios de revisión de la literatura y no poseen enfoque en ninguna subárea específica, son ejemplo de éstos los presentados por Vance & Berg (2017), que consideraron necesario un estudio de tipo survey para evaluar el actual estado de la industria en cuanto a la aplicación de Realidad Virtual para la toma de decisión, y lo expuesto por Choi et al. (2015) que trata de un estudio actual y de perspectiva a futuro de la aplicación de Realidad Virtual en la manufactura.

3.3 VENTAJAS OBSERVADAS EN LA APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL EN LA MANUFACTURA

La literatura apunta a diferentes ventajas obtenidas a través de la aplicación de Realidad Virtual dentro de la manufactura. Para una mejor comprensión de las ventajas abordadas en los artículos, este estudio definió y agrupó las mismas en 4 grandes dimensiones: seguridad, agilidad, rentabilidad y cooperación.

La primera, seguridad, representa 25% de las ventajas apuntadas por los artículos profundizados en este estudio, son destacables los estudios publicados por García et al. (2019) e Isleyen y Duzgun (2019), que analizan el empleo de Realidad Virtual para operaciones de mantenimiento y entrenamiento de mitigación de riesgos en lugares confinados.

En cuanto a agilidad, se menciona con una frecuencia del 22,7%, siendo que dentro de esta dimensión se juzgan aspectos como la posibilidad de adaptar escenarios de producción en fases tempranas del diseño de producto (MENCK *et al.*, 2013) y la posibilidad de prueba y previsión de inconvenientes en los sistemas de producción (DAMGRAVE *et al.*, 2014).

La dimensión de rentabilidad, si bien puede ser compleja de abarcar de forma integral, es identificada dentro los 44 artículos estudiados, y es juzgada en este estudio como las ventajas que permiten, desde diferentes aplicaciones, que la reducción de costos y/o la adquisición de ventajas de producción viabilicen económicamente y de una manera cualitativa, la adquisición de Realidad Virtual, son ejemplos de esto la detección de errores en la creación de planos de distribución (HAVARD, *et al.*, 2019), reducción de costos relativos a la virtualización de simulación de fábricas para aprendizaje, también conocidas como Learning Factories (RIEMANN *et al.*, 2020), así como aquellos procesos que traen implícita la reducción de tiempo, como por ejemplo, hacer oportuna la sincronización de la concepción de producto con la definición de procesos para su materialización (KIND, *et al.*, 2020).

Finalmente, la dimensión de cooperación abarca aquellas ventajas que habilitan trabajos colaborativos, ya sea entre miembros de un equipo o entre humanos y máquinas. Esta dimensión es relevante para el 22,7% de los artículos estudiados, siendo interesante mencionar los trabajos de Wolfartsberger *et al.* (2019), donde se explica la utilización de Realidad Virtual para la revisión de diseño colaborativo, y Murhij y Serebrenny (2019) cuyo estudio trata sobre la combinación de diversos hardwares y softwares, entre ellos Realidad Virtual, con el objetivo de realizar operaciones de forma remota, con alta efectividad y bajo costo a través de la colaboración humano-máquina.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE ANÁLISIS DE REALIDAD VIRTUAL EN LA MANUFACTURA

La aplicación de Realidad Virtual dentro de la manufactura es síntoma del afianzamiento de tecnologías digitales como herramientas interesantes para el apoyo de toma de decisiones dentro de las empresas. (Wolfartsberger *et al.*, 2019). Si bien existe un gran interés por

el uso de esta herramienta, es importante analizar criteriosamente las implicancias de la adquisición de Realidad Virtual dentro de una empresa. A continuación, se desglosan las siguientes Categorías de Análisis, basadas en la lectura y evaluación de la compilación de 44 artículos pertinentes al tema estudiado:

3.4.1 CATEGORÍA 1: TECNOLOGÍAS VINCULADAS AL USO DE REALIDAD VIRTUAL

La bibliografía apunta a la utilización de diferentes tecnologías vinculadas al uso de Realidad Virtual. En este artículo esas tecnologías fueron clasificadas en 3 diferentes tipos de relación: Apoyo a Tecnologías Integrales, Dependencia Tecnológica y Tecnologías Cooperativas.

La Relación de Apoyo a Tecnologías Integrales consiste en la aplicación de Realidad Virtual para diversas tecnologías de la Industria 4.0 que son percibidas como más integrales, es decir, que para su aplicación dependen de otras tecnologías, como Realidad Virtual, que juntas viabilizan el concepto. La Realidad Virtual es descrita como una herramienta tecnológica de aporte para, por ejemplo, Digital Twin o Gemelo Digital (RATAVA et al., 2019), Administración del Ciclo de Vida del Producto PLM (MENCK et al., 2013), Sistema de Manufactura Flexible FMS (PENTTILÄ et al., 2019) y Colaboración Humano-Máquina HRC (RUCKERT et al. 2018). En la Figura 7, se ilustra la frecuencia con la que se mencionan las diferentes Tecnologías Integrales dentro de los artículos estudiados.

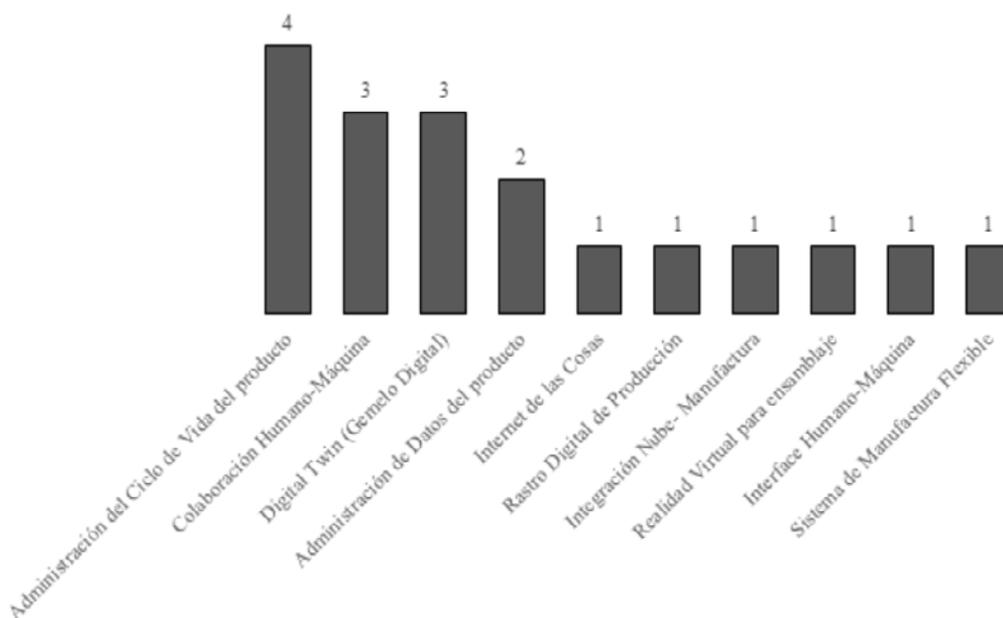


Figura 7: Frecuencia de la aparición de las Tecnologías Integrales en el total de los artículos empleados en este estudio (44). Fuente: Los autores.

En la relación de Dependencia Tecnológica, los elementos tecnológicos mencionados hacen posible la implementación de Realidad Virtual, que normalmente se encuentra constituida por hardwares y softwares. En el caso de los hardwares, se menciona el uso de Lentes o cascos de Realidad Virtual (HMD), dispositivos hápticos como guantes, sensores y controles, entornos de Realidad Virtual (CAVE), Robots (Brazos Robóticos y *Motomen*), Periféricos de Computador convencionales (como pantallas, mouses y teclados). En la Figura 8, se muestra la frecuencia con la cual se nombra el uso de los tipos hardware nombrados anteriormente.

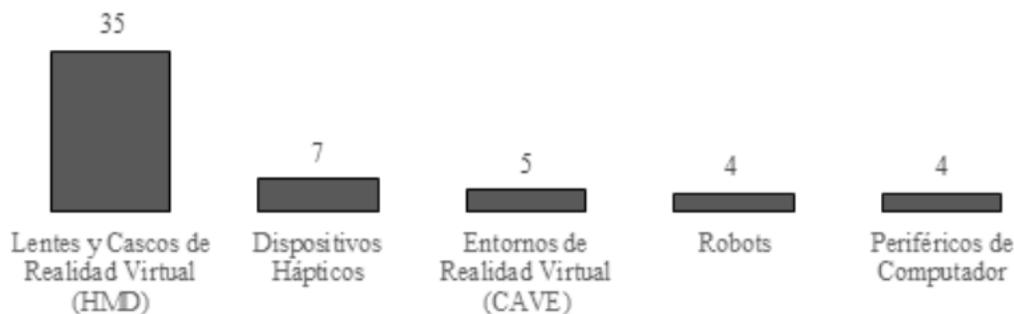


Figura 8: Frecuencia de la mención de diferentes tipos de hardware empleados para realizar simulaciones en Realidad Virtual. Fuente: Los autores.

En el caso de softwares, existen diferentes tipos de softwares empleados en la creación y ejecución de escenarios de Realidad Virtual, entre ellos, se encuentran los softwares CAD o Diseño Asistido por Computador, de los cuales 6,8% de los artículos mencionan el uso Catia, 6,8% de 3Ds Max, 2,27% de Rhinoceros, 2,2% de PTC y 2,2% de Solidworks, representando un porcentaje de mención de herramientas CAD del 20,41%, herramientas CAM o Manufactura Asistida por Computador y CAE o Ingeniería Asistida por Computador son mencionados en 6,8% de los artículos y Motores de Juegos como Unity 3D y 3Ds Max Interactive representan 11,36% de las menciones.

Como última relación, la Relación de Tecnologías Cooperativas, tiene el uso de tecnologías que se pueden definir como combinables para agregar valor al conjunto, con el fin mejorar la calidad o realismo de las simulaciones, tal es el caso del uso de AR o Realidad Aumentada con 11,3% de las menciones, Fabricación Aditiva para, por ejemplo, la impresión de accesorios físicos para utilización en hardware hápticos (GRAJEWSKI, *et al.*, 2013), representando 6,8% de las menciones y Simuladores de Procesos como Simio, Tecnomatix, Sim3D y FlexSim representan 9,09% de las menciones entre los 44 artículos estudiados.

3.4.2 CATEGORÍA 2: DIFERENCIALES COMPETITIVOS LIGADOS A LA APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL

Considerando el aspecto de diferenciales competitivos abordados por Porter (2004) y complementados por Pires (1995) como Calidad, Precio, Tiempo de Entrega y Flexibilidad, en este trabajo la Realidad Virtual es reconocida en 81% de los artículos estudiados, como un medio para alcanzar uno o varios objetivos competitivos a través de la viabilidad y optimización de procesos. En la Figura 9 se ilustra la cantidad de los artículos anteriormente mencionados para los diferenciales competitivos.



Figura 9: Frecuencia de las menciones de Diferenciales Competitivos según Pires (1995), en los 44 artículos estudiados. Fuente: Los autores.

Dentro del diferencial competitivo Costo, se menciona la optimización de procesos de alto costo operacional (ELBERT *et al.*, 2019), planeamiento y prueba de plantas de forma previa a su implantación (YAP *et al.*, 2014) y validación de operaciones de montaje antes de empezar a producir (KIND *et al.*, 2020).

Hablando del diferencial competitivo de Calidad, existen casos como la creación de procesos y productos con calidad garantizada a través del uso de simulación en Realidad Virtual (RATAVA *et al.*, 2019), la identificación colaborativa de fallas antes de la producción de lotes (WOLFARTSBERGER *et al.*, 2019) y evaluación de procesos de alta precisión (OTTO *et al.*, 2019).

Dentro del diferencial competitivo de Tiempo de Entrega, se ejemplifican casos como la reducción de tiempo de investigación para pruebas de productos y sistemas (GOLDA *et al.*, 2016), así como la disminución del tiempo empleado en la revisión de diseño de procesos (NEE Y ONG, 2013).

Finalmente, dentro del diferencial competitivo de Flexibilidad, se pueden mencionar los casos de adaptación de procesos en Learning Factories (RIEMANN *et al.*, 2020), el complemento humano de la Investigación de Operaciones para definición y adaptación de diseño de plantas y procesos (GONG, *et al.*, 2019), así como la viabilidad de la colaboración humano-máquina (RUCKERT *et al.*, 2018).

3.4.3 CATEGORÍA 3: LIMITACIONES DENTRO DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL

Dentro de los 44 artículos consultados en la bibliografía, 28 artículos señalan limitaciones relacionadas a diferentes factores, de entre los cuales se identifican los factores tecnológicos (75,86%), falta de conocimiento (7,14%) y relacionadas al comportamiento humano (17%).

En la Figura 10, se muestra la distribución porcentual de las limitaciones tecnológicas encontradas en los 28 artículos que apuntaron limitaciones.

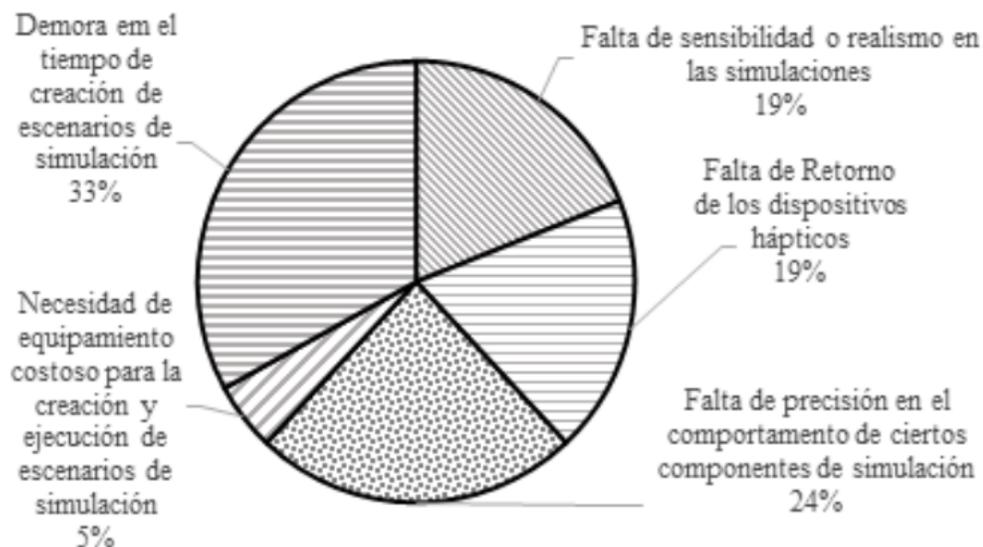


Figura 10: Distribución porcentual de los tipos de limitaciones tecnológicas encontradas en los artículos estudiados. Fuente: Los autores.

Las limitaciones vinculadas a la falta de conocimiento de las empresas se encuentran divididas en dos principales situaciones: La primera, la dificultad para decidir la combinación

de tecnologías para alcanzar un objetivo por el cual se realiza el análisis o proyecto (DAMGRAVE *et al.*, 2014), y reconocer en cuáles etapas se pueden utilizar ciertas herramientas (MENCK *et al.*, 2013).

El último tipo de limitación encontrado se define de forma global como limitaciones relacionadas al comportamiento humano. En ese caso se perciben 3 tipos de limitaciones: la primera, limitaciones en cuanto a la experiencia en el uso de dispositivos de Realidad Virtual (WOLFARTSBERGER *et al.*, 2019), la segunda, problemas de adaptación física o espacial (NAYHUA *et al.*, 2017), y finalmente la tercera, que radica en la falta de interés o confianza en herramientas tecnológicas de simulación por parte del usuario (ELBERT *et al.*, 2019).

4 DISCUSIÓN

Esta sección presenta una discusión de tópicos abordados en este trabajo, para ese objetivo, se divide la misma en 4 secciones que se presentan a continuación.

4.1 VENTAJAS Y LIMITACIONES VINCULADAS A LA MADUREZ ORGANIZACIONAL

Es importante destacar que existen, como en toda tecnología, ventajas y limitaciones asociadas a la adquisición de Realidad Virtual para su aplicación a los procesos de manufactura. Para definir cuál es la influencia de estos factores, es imprescindible conocer el nivel de madurez dentro de la organización. El nivel de madurez organizacional es evaluado considerando aspectos como el gerenciamiento de dispositivos, gobernanza de datos, gerenciamiento de aplicación, alineamiento organizacional y la transformación de procesos (Gökalp *et al.*, 2017). Todos estos aspectos afectan de una manera u otra la percepción de resultados a partir de la aplicación de Realidad Virtual.

El gerenciamiento de dispositivos abarca todas las variables que competen a la disponibilidad de herramientas tecnológicas, así lo resalta Choi *et al.* (2015), afirmando que es necesaria una eficiente red de Big Data y elementos 3D actualizados, así como una sincronización de tecnologías para permitir alcanzar objetivos reales.

La gobernanza de datos es un aspecto que compete a la habilidad que una empresa tiene para interpretar y emplear los datos obtenidos a partir de las herramientas tecnológicas que poseen, en el caso de Mourtzis *et al.* (2014), la deficiencia en la habilidad de utilizar estos datos es limitante porque describe la complejidad de que los marcos existentes utilizados en las fases de diseño aumentan y requieren una gran habilidad y un largo tiempo de procesamiento que, como resultado, no facilitan el uso de colaboración abierta, que viene siendo una de las ventajas que la aplicación de Realidad Virtual ofrece.

El gerenciamiento de aplicación se preocupa por la forma en que los datos y las tecnologías pueden ser combinadas y aplicadas para conseguir la optimización de procesos. En este caso, Menck *et al.* (2013) menciona que es necesario saber coordinar correctamente las tecnologías necesarias para la aplicación de simulación. Observaron que, en el soporte continuo del ciclo de vida de la fábrica, la herramienta de Realidad Virtual no puede respaldar todo el proceso de planificación, explicando que la misma falla en el soporte de las primeras fases y son más o menos adecuados solo para la planificación detallada de fábricas.

El alineamiento organizacional define la aptitud de una empresa en el ámbito de la Arquitectura Organizacional, la capacidad de ajustar el nivel de inversión en el área de TI y el desarrollo de habilidades del talento humano que trabaja en este departamento, dando a la compañía la capacidad de realizar la transición a la Industria 4.0. Para Realidad Virtual,

el requerimiento de conocimiento varía dependiendo de la aplicación, en algunos casos, como el de Wolfartsberger *et al.* (2018), no son necesarios conocimientos de programación, siendo que algunos softwares traen incluidas las funciones en forma de botones, siendo que para esa aplicación se emplea únicamente Realidad Virtual. Es diferente cuando la Realidad Virtual debe ser combinada con otras tecnologías cooperativas, el nivel de conocimiento debe ser mayor, pues implica otros aspectos a ser considerados, un ejemplo de esto lo expone Yap *et al.* (2019), cuya aplicación requiere una sincronización en tiempo real de datos empleando células robotizadas y Realidad Virtual.

Finalmente, la transformación de procesos describe la adaptación de procesos básicos al nuevo modelo de negocios, así como la adición de nuevos procesos, de una forma organizada y respetando padrones. Es interesante notar, que procesos de entrenamiento pueden ser adaptados o adicionados al nuevo modelo de negocios de mano de herramientas de simulación como Realidad Virtual. Es un ejemplo, el caso de Riemann *et al.* (2020), que permite la transformación de Learning Factories, o Fábricas de Entrenamiento físicas, a ambientes totalmente virtuales, siendo ya prescindible el montaje de fábricas físicas para entrenamiento de nuevos funcionarios.

4.2 LA REALIDAD VIRTUAL COMO MEDIO PARA ALCANZAR DIFERENCIALES COMPETITIVOS

La definición de diferenciales competitivos adoptados por una institución se encuentra íntimamente ligada a los objetivos y el conocimiento del mercado en el cual una empresa pretende actuar. Es por ese motivo que es necesario enfocarse en una estrategia adecuada a la selección de objetivos. La decisión de realizar una transición a la Industria 4.0 implica analizar cuáles serán las inversiones por realizar para satisfacer los objetivos. Debido a eso es por lo que resulta importante evaluar cuáles herramientas permiten la ejecución de tareas que posibiliten el cumplimiento de dichos objetivos a largo y corto plazo.

Los diferenciales competitivos que son abarcados en este estudio son cuatro: flexibilidad, costo, calidad y plazos de entrega. Si bien existen casos de estudio contemplando la satisfacción de dichos diferenciales competitivos a través de la aplicación de Realidad Virtual, éstos poseen diferentes ángulos de apreciación. Si se habla de la flexibilización como diferencial competitivo, los casos de estudio apuntan a una cualidad de flexibilización de procesos y no de productos, aunque al final, la capacidad de tener procesos flexibles acaba impactando a los productos en esa característica. Se habla así de una influencia más evidente del uso de Realidad Virtual en el desempeño del producto analizando la flexibilidad como diferencial competitivo.

El diferencial de costo es más complejo, pues cuando los expertos hablan de competir por costos, hablan de costos predecibles y cuantificados. Con la aplicación de Realidad Virtual, existen casos que exponen una efectiva reducción de costos operativos, comparando los mismos con costos proyectados antes de la aplicación de Realidad Virtual. Sin embargo, existe también el ángulo de los costos detectados y reducidos que nacen de situaciones que no fueron consideradas en la planificación y previsión de costos, normalmente atribuidos a errores de diseño, falta de evaluación de, por ejemplo, factores humanos y la posibilidad de realizar pruebas sin comprometer la integridad física de funcionarios y máquinas, por citar algunos casos.

El diferencial competitivo de calidad es bastante amplio, pues la calidad abarca una serie de cuestiones tanto en las operaciones como en el producto, observándose desde ese punto, en este estudio, se considera la calidad como la disminución de errores operativos y de producto. Se aprecia que la Realidad Virtual es una herramienta que permite la revisión

de procesos y diseño de producto, de una manera en la que todos los involucrados consigan conocer y corregir de manera cooperativa productos y procesos antes de la puesta en marcha de su producción física o lanzamiento.

Por último, pero no menos importante, el diferencial de tiempo de entrega se ve afectado por diversos factores, comúnmente asociados a procesos de producción y distribución. La optimización de procesos de producción y logística a través de entrenamiento virtual, la planificación tanto como la evaluación de plantas y flujos de producción, así como la agilización de interacción humano-máquina son aplicaciones en las cuales la Realidad Virtual tiene influencia directa en el diferencial competitivo de plazo de entrega.

4.3 LA COMBINACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA ALCANZAR OBJETIVOS DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN

En esta sección se discuten dos escenarios considerados importantes a la hora de adquirir la herramienta de Realidad Virtual dentro de una organización. La primera, es plantearse si la Realidad Virtual, consigue, en algunos casos, sin apoyo de otras tecnologías integrales y/o cooperativas, la conquista de los objetivos en donde la aplicación de esta herramienta resulta pertinente.

La aplicación de Realidad Virtual como única tecnología para el cumplimiento de objetivos establecidos dentro de una estrategia empresarial no es un hecho poco usual, en la simulación de procesos y plantas de fábrica es común usar esta herramienta para conseguir visualizar de una forma más interactiva los proyectos de reubicación o adición de células productivas (HAVARD, *et al.*, 2019), así como la evaluación de ergonomía en las instalaciones industriales (CAPUTO *et al.*, 2018), el entrenamiento de funcionarios para manejo de situaciones de riesgo (ZHANG, 2017) y capacitación para ejecución de procesos que implican un alto costo operacional (ELBERT *et al.*, 2019). Generalmente, la utilización de Realidad Virtual de forma individual es requerida en el cumplimiento de objetivos a corto plazo, en proyectos no demasiado complejos y como forma final de verificación de proyectos antes de su ejecución física.

El segundo escenario, discute sobre cómo la Realidad Virtual en combinación con otras tecnologías consigue adicionar efectivamente un mejor desempeño al conjunto de una forma eficiente sin adicionar dificultad a la operación a proyectos con un nivel de complejidad más elevado.

En este caso, la Realidad Virtual tiene un papel más activo en el cumplimiento de objetivos, pues aparece en niveles más intermediarios y recurrentes en la ejecución de rutinas que emplean tecnologías 4.0. Un ejemplo de esto es el expuesto por Ojstersek *et al.* (2019), cuyo trabajo aplica optimización en tiempo real de la manufactura, a través de la combinación de Realidad Virtual y softwares de simulación procesos. Si bien es una aplicación de mayor complejidad, la implementación de Realidad Virtual permite una interpretación gráfica de datos numéricos brindados por el software de simulación, haciendo más fácil su asimilación por parte de personas propias y ajenas a la ejecución del área de estudio en el cual se clasifica el proyecto. Se tienen en cuenta también, casos en donde la combinación de Realidad Virtual junto con otras tecnologías cooperativas no lanza los resultados esperados, esto se debe a la limitación que algunos softwares presentan en aplicaciones diferentes de las que fueron proyectadas, es decir, el software o los dispositivos hápticos no satisfacen la demanda necesaria para tener un buen desempeño en la ejecución del proyecto. Este es un problema usual debido a la falta de precedentes, la falta de investigación o no conocer el nivel de simulación necesario para alcanzar el objetivo del proyecto.

4.4 INDUSTRIA 4.0 Y REALIDAD VIRTUAL EN LATINOAMÉRICA

Las empresas latinoamericanas enfrentan hoy la necesidad de mantenerse competitivas en el mercado, es por eso que varias compañías que poseen una larga tradición deben escoger entre sostener su mismo modelo de negocios y de producción hasta caer en la obsolescencia o realizar una mudanza significativa y radical en sus modelos de negocios, su cultura organizacional así como sus objetivos y metas para alinearlos con el modelo de Industria 4.0, existiendo la posibilidad de no conseguir sobrevivir a la transición y perecer. (GALLIANO, 2018).

Diversos artículos exponen la existencia de factores a los cuales la industria latinoamericana debe enfrentarse para adoptar la transición a la industria 4.0. La primera es la limitada capacidad de inversión, debido, principalmente a la falta de fondos propios y de opciones crediticias viables, reforzada por la falta de priorización en el alineamiento de las naciones industriales al modelo 4.0 en Latinoamérica, esto es expuesto en los artículos de Prado (2020) Wentzel (2020). La segunda, la falta de incentivo de los gobiernos latinoamericanos para la innovación (CEPAL, 2019) que expone la necesidad de crear políticas y organismos públicos para impulsar la transición a la industria 4.0. La tercera es la falta de capacitación, necesaria para implementar tecnologías 4.0, según Rave (2019) actualmente 65% de los alumnos que se encuentran en el grado de primaria y secundaria trabajarán en profesiones que aún no existen hoy, y Latinoamérica aún no se encuentra preparado para enfrentar una cuarta revolución industrial. Aún con esas limitaciones, una tecnología comienza a ser relevante entre las columnas especializadas en industria: La adquisición y elaboración de proyectos usando Realidad Virtual.

Los países que llevan la ventaja en cuanto a la introducción de Realidad Virtual en sus procesos de manufactura aún no se encuentran cuantificados, pero es posible encontrar artículos exponiendo las experiencias que algunas empresas latinoamericanas.

Las empresas manufactureras brasileñas Embraco, Whirlpool (MARTENDAL, 2019) y Embraer (EMBRAER, 2000) relatan experiencias positivas en el uso de Realidad Virtual, en cuanto a productividad y posibilidades de introducir mejoras en sus procesos de manufactura.

Empresas del ramo minero chilenas como Antofagasta Minerals (EFE, 2017) y mexicanas como Industrias Peñoles (VALDÉZ, 2019) utilizan la Realidad Virtual como un medio para realizar capacitación y entrenamiento de funcionarios, debido a la naturaleza riesgosa de sus procesos operativos.

Empresas multinacionales con operación en Latinoamérica como Fiat (FIAT, 2019) y Mercedes Benz (ESTRADÃO, 2019), realizan una importante participación en el uso de Realidad Virtual, teniendo un gran desempeño en la aplicación de esta. Si bien, como ya mencionado, las mismas operan en Latinoamérica, éstas no son retratadas en este estudio con mayor profundidad debido a que este tipo de empresa tiene este tipo de proyectos impulsados desde sus matrices fuera de Latinoamérica.

Es notable el hecho de que gran parte de los proyectos vinculados a RV son llevados a cabo por startups dedicados a la divulgación y asesoría técnica para las empresas de manufactura, y, por el momento es probable que esto se mantenga en esa dinámica, pues empresas latinoamericanas aún no se encuentran lo suficientemente maduras y con suficiente confianza para adoptar e involucrarse efectivamente en la transición 4.0.

5 CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo tuvo como objetivo analizar de forma cualitativa y exploratoria escenarios de aplicación de Realidad Virtual en la manufactura, por medio del método de investigación

bibliométrica, clasificando y posteriormente evaluando 7 diferentes subáreas de la manufactura, llevando en cuenta el estudio de sus ventajas, y 3 categorías de análisis, siendo estas identificadas como: tecnologías vinculadas al uso de Realidad Virtual, diferenciales competitivos ligados a la aplicación de Realidad Virtual y limitaciones dentro de la aplicación de Realidad Virtual. Dando así, pie a la discusión de los resultados en base a informaciones recabadas en este trabajo.

Apartir de las informaciones obtenidas durante el proceso investigativo, se pueden destacar cuatro principales conclusiones. La primera es que, si bien las empresas tienen niveles de madurez diferentes, la adquisición de Realidad Virtual es únicamente un complemento para realizar optimizaciones significativas en las diferentes áreas de aplicación posibles dentro de la manufactura. Lo anterior no desmiente de que la Realidad Virtual sea importante para la toma de decisiones, pero su aplicación sin previa mudanza cultural y organizativa no permite un desempeño íntegro de dicha herramienta.

Como segundo punto, se reconoce que la aplicación de Realidad Virtual tiene una importante influencia estratégica en la diferenciación competitiva dentro de las organizaciones, permitiendo desde varios puntos de vista, una mayor interactividad entre dos o más diferenciales competitivos, sin mencionar, una amplia mejora en cuestiones comunicativas impactando de manera importante el fortalecimiento de trabajo en equipo y la compartición de informaciones.

En la tercera conclusión, se entiende que es necesario conocer las herramientas disponibles de simulación, así como las mejores alternativas de combinación de tecnologías 4.0 para satisfacer las necesidades impuestas por el proyecto. Es igual de importante, conocer cuáles son esas necesidades, que pueden ser grado de realidad, grado de flexibilidad, retorno coherente de dispositivos hápticos y fluidez de la simulación.

Conforme observado en la discusión sobre Industria 4.0 y Latinoamérica, se percibe la necesidad de invertir y fortalecer de manera inmediata en políticas públicas y económicas para el desarrollo industrial y económico de la región latinoamericana, garantizando su competitividad de la industria, a través de la transición a la Industria 4.0. Es a partir de esa premisa, que la Realidad Virtual tomará un papel más activo y eficiente en el cumplimiento de los objetivos alineados al nuevo tipo de industria.

Como sugerencia para futuros estudios, se propone evaluar el nivel de madurez de las empresas, específicamente, con qué nivel de madurez resulta oportuna la utilización de herramientas de simulación para obtener el mejor desempeño y provecho de éstas, pudiendo ser, específicamente sobre Realidad Virtual. También se percibe la necesidad de realizar un análisis cuantitativo de tipo *survey* con empresas de manufactura considerando las categorías de análisis identificadas en este trabajo.

QUALITATIVE ANALYSIS OF VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN MANUFACTURING COMPANIES USING BIBLIOMETRIC INVESTIGATION: A STUDY OF THE LATIN AMERICAN

ABSTRACT: The application of Virtual Reality as a simulation tool to support manufacturing has stood out in the context of Industry 4.0. This work aims at the study of qualitative factors, exposed as categories of analysis, important to be considered in terms of the application of Virtual Reality in manufacturing. The study obeys the bibliographic review method, being carried out using the keywords: Virtual Reality, manufacturing, Industry 4.0 and industrial, with 74 articles of interest being found. The analysis of the articles allowed the identification of 44 articles classified in 6 categories of application of Virtual Reality: Product Development, Process Development, Industrial Hygiene and Safety, Logistics, Quality Verification, and Maintenance Training. This study shows that the application of Virtual Reality within manufacturing can only reveal its full potential within companies with optimized processes and objectives compatible with the transition to Industry 4.0. An analysis within the Latin American scenario was also carried out. As a suggestion for future studies, a quantitative study of the survey type can be considered, and the evaluation of the organizational maturity necessary for the implementation of 4.0 technologies.

KEYWORDS: Virtual Reality. Manufacturing. Industry 4.0. Industrial. Latin-America.

Originals recebidos em: 31/03/2021
Aceito para publicação em: 13/12/2021

REFERÊNCIAS

BERG, L. P. y VANCE, J. M., 2016, **Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey**. *Virtual Reality*. 2016. Vol. 21, no. 1, p. 1-17. DOI 10.1007/s10055-016-0293-9. Springer Science and Business Media LLC. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0293-9>

Boeing: Employees use virtual reality to figure out best way to build 737 MAX 10, 2020. Boeing.com [en línea]. Disponible en: <https://bityli.com/5uXbW>

CAPUTO, F., GRECO, A., D'AMATO, E., NOTARO, I. and SPADA, S., 2018, **On the use of Virtual Reality for a human-centered workplace design**. *Procedia Structural Integrity*. 2018. Vol. 8, p. 297-308. DOI 10.1016/j.prostr.2017.12.031. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.016>

CHOI, S., JUNG, K. y NOH, S. D., 2015, **Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions**. *Concurrent Engineering*. 2015. Vol. 23, no. 1, p. 40-63. DOI 10.1177/1063293x14568814. SAGE Publications. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>

DAMGRAVE, R.G.J., LUTTERS, E. y DRUKKER, J.W., 2014, **Rationalizing Virtual Reality based on Manufacturing Paradigms**. *Procedia CIRP*. 2014. Vol. 21, p. 264-269. DOI 10.1016/j.procir.2014.03.132. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.132>

DAMIANI, L., DEMARTINI, M., GUIZZI, G., REVETRIA, R. y TONELLI, F., 2018, **Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era**. *IFAC-Papers Online*. 2018. Vol. 51, no. 11, p. 624-630. DOI 10.1016/j.ifacol.2018.08.388. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>

ELBERT, R., KNIGGE, J., MAKHLOUF, R. y SARNOW, T., 2019, **Experimental study on user rating of virtual reality applications in manual order picking**. *IFAC-Papers Online*. 2019. Vol. 52, no. 13, p. 719-724. DOI 10.1016/j.ifacol.2019.11.200. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.200>

EFE, AGÊNCIA, 2017, **Realidade virtual ajuda a evitar acidentes em minas no Chile**. G1 [en línea]. 2017. [Acceso 8 octubre 2020]. Disponible en: <https://bityli.com/nw3Pr>

ESCHEN, H., KÖTTER, T., RODECK, R., HARNISCH, M. y SCHÜPPSTUHL, T., 2018, **Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry**. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 19, p. 156-163. DOI 10.1016/j.promfg.2018.01.022. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022>

Estradão - O Portal do Caminhão. (2019). **Mercedes-Benz dá mais um passo na Indústria 4.0** [Blog]. Leído 14 octubre 2020, de <https://bityli.com/kDkfa>

FRANGOUL, A., 2020, **Designers at Ford are using virtual reality tools to work with colleagues remotely**. CNBC [en línea]. 2020. [Acceso 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://bityli.com/aVxOO>

GALLIANO, A. (2018). **¿Y si aceleramos América Latina?** [Blog]. Leído 14 octubre 2020, de

<https://nuso.org/articulo/y-si-aceleramos-america-latina/>.

GARCIA, C. A., NARANJO, J. E., ORTIZ, A. y GARCIA, M. V., 2019, **An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector**. IFAC-Papers Online. 2019. Vol. 52, no. 9, p. 285-291. DOI 10.1016/j.ifacol.2019.08.222. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.222>

GÖKALP, E., SENER, U. y EREN, P., 2017. **Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM**. Software Process Improvement and Capability Determination, [en línea] 770, pp.128-142. Disponible en: < <https://bityli.com/Wkeif> > [Acceso 29 Setiembre 2020].

GOLDA, G, KAMPA, A y PAPROCKA, I, 2016, **The application of virtual reality systems as a support of digital manufacturing and logistics**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 145, p. 042017. DOI 10.1088/1757-899x/145/4/042017. IOP Publishing. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/145/4/042017>

GONG, L., BERGLUND, J., FAST-BERGLUND, Å., JOHANSSON, B., WANG, Z. y BÖRJESSON, T., 2019, Development of virtual reality support to factory layout planning. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**. 2019. Vol. 13, no. 3, p. 935-945. DOI 10.1007/s12008-019-00538-x. Springer Science and Business Media LLC. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00538-x>

GRAJEWSKI, D., GÓRSKI, F., ZAWADZKI, P. y HAMROL, A., 2013, **Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces**. Procedia Computer Science. 2013. Vol. 25, p. 289-301. DOI 10.1016/j.procs.2013.11.035. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.035>

HALL, J., 2020, **La Internet Industrial de las cosas y la Industria 4.0 en colada por Gravedad**. Tiltpour.com [en línea]. 2020. [Acceso 20 septiembre 2020]. Disponible en: http://tiltpour.com/pdf/SS_2018_Spring_CMH_SP.pdf

HAVARD, V., TRIGUNAYAT, A., RICHARD, K. and BAUDRY, D., 2019, **Collaborative Virtual Reality Decision Tool for Planning Industrial Shop Floor Layouts**. Procedia CIRP. 2019. Vol. 81, p. 1295-1300. DOI 10.1016/j.procir.2019.04.016. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.016>

HÖLLER, Y., HÖHN, C., SCHWIMMBECK, F., PLANCHER, G. y TRINKA, E., 2020, **A virtual reality paradigm to assess episodic memory**: Validation-dataset for six parallel versions and a structured behavioral assessment. Data in Brief. 2020. Vol. 29, p. 105279. DOI 10.1016/j.dib.2020.105279. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105279>

ISLEYEN, E. y DUZGUN, H.S., 2019, Use of virtual reality in underground roof fall hazard assessment and risk mitigation. **International Journal of Mining Science and Technology**. 2019. Vol. 29, no. 4, p. 603-607. DOI 10.1016/j.ijmst.2019.06.003. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.06.003>

KIND, S., GEIGER, A., KIEßLING, N., SCHMITZ, M. y STARK, R., 2020, **Haptic Interaction in Virtual Reality Environments for Manual Assembly Validation**. Procedia CIRP. 2020. Vol. 91, p. 802-807. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.238. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.238>

MANDIC, V., RADISA, R., LUKOVIC, V. y CURCIC, M., 2013, **Integrated Model-Based Manufacturing for Rapid Product and Process Development**. IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2013. P. 64-71. DOI 10.1007/978-3-642-40361-3_9. Springer Berlin Heidelberg. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40361-3_9

MARTENDAL, LUAN, 2019, **Empresas de Joinville utilizam realidade virtual para aumentar competitividade**. NSC Total [em línea]. 2019. [Acceso 8 octubre 2020]. Disponible en: <https://bityli.com/J9jtC>

MARZANO, A., FRIEL, I., ERKOYUNCU, J. A., y COURT, S., 2015, **Design of a Virtual Reality Framework for Maintainability and Assemblability Test of Complex Systems**. Procedia CIRP. 2015. Vol. 37, p. 242-247. DOI 10.1016/j.procir.2015.08.067. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.067>

MENCK, N., WEIDIG, C. y AURICH, J. C., 2013, **Virtual Reality as a Collaboration Tool for Factory Planning based on Scenario Technique**. Procedia CIRP. 2013. Vol. 7, p. 133-138. DOI 10.1016/j.procir.2013.05.023. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.023>

MURHIJ, Y. and SEREBRENNY, V., 2019, **An application to simulate and control industrial robot in virtual reality environment integrated with IR stereo camera sensor**. IFAC-Papers Online. 2019. Vol. 52, no. 25, p. 203-207. DOI 10.1016/j.ifacol.2019.12.473. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.473>

MRUGALSKA, B. and WYRWICKA, M. K., 2017, **Towards Lean Production in Industry 4.0**. Procedia Engineering. 2017. Vol. 182, p. 466-473. DOI 10.1016/j.proeng.2017.03.135. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>

NAYHUA GAMARRA, J. A. y GUZMÁN NEYRA, R. A., 2017, **Uso de Realidad Virtual Inmersiva (RVI) para el entrenamiento de personal en Seguridad, mantenimiento y operaciones**. Presentación. 2017. Disponible en: <https://www.cerv.com.pe/PAPPER%20PERMIN%2023.pdf>

NEE, A.Y.C. and ONG, S.K., 2013, **Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing**. IFAC Proceedings Volumes. 2013. Vol. 46, no. 9, p. 15-26. DOI 10.3182/20130619-3-ru-3018.00637. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00637>

OJSTERSEK, R., PALCIC, I. y BUCHMEISTER, B., 2019, **Real-Time manufacturing optimization with a simulation model and virtual reality**. Procedia Manufacturing. 2019. Vol. 38, p. 1103-1110. DOI 10.1016/j.promfg.2020.01.198. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.198>

OTTO, M., LAMPEN, E., AGETHEN, P., LANGOHR, M., ZACHMANN, G. y RUKZIO, E., 2019, **A Virtual Reality Assembly Assessment Benchmark for Measuring VR Performance & Limitations**. Procedia CIRP. 2019. Vol. 81, p. 785-790. DOI 10.1016/j.procir.2019.03.195. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.195>

Para enfrentar a Quarta Revolução Industrial, é fundamental impulsionar políticas trabalhistas e produtivas complementares, advertiram especialistas na CEPAL, 2019. <https://www.cepal.org/pt-br/noticias/enfrentar-quarta-revolucao-industrial-fundamental->

impulsionar-políticas-trabalhistas [en línea].

PENG, L, YEN, Y and SISWANTO, I, 2020, Virtual reality teaching material - virtual reality game with education. **Journal of Physics: Conference Series**. 2020. Vol. 1456, p. 012039. DOI 10.1088/1742-6596/1456/1/012039. IOP Publishing. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1456/1/012039>

PENTTILÄ, S, LUND, H., RATAVA, J., LOHTANDER, M., KAH, P. y VARIS, J., 2019, **Virtual Reality Enabled Manufacturing of Challenging Workpieces**. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 39, p. 22-31. DOI 10.1016/j.promfg.2020.01.224. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.224>

PIRES, S., 1995, **Gestão Estratégica da Produção**. Unimep.

PORTER, MICHAEL E, 2004, **Estratégia competitiva**. 1. Rio de Janeiro: GEN Atlas.

PRADO, LUIZA, 2020, **Falta de financiamento é entrave para indústria 4.0**. *Jornal do Comércio [em línea]*. 2020. [Acceso 8 Octubre 2020]. Disponible en: <https://bityli.com/WQFuo>

RATAVA, J., PENTTILÄ, S., LUND, H., LOHTANDER, M., KAH, P., OLLIKAINEN, M. y VARIS, J., 2019, **Quality assurance and process control in virtual reality**. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 38, p. 497-504. DOI 10.1016/j.promfg.2020.01.063. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.063>

RAVE, ROBERTO, 2019, **¿Se subirá Latinoamérica a la cuarta revolución industrial?** *CNN [en línea]*. 2019. [Acceso 8 octubre 2020]. Disponible en: <https://bityli.com/Gea18>

Realidade virtual aperfeiçoa criação de novos veículos da Fiat. (2019). Leído 14 octubre 2020, de <https://bityli.com/ZBh1l>

Realidade Virtual uma nova tecnologia a serviço da Embraer, 2000. www.embraer.com.br [en línea].

Realidade Virtual reduz custos da indústria, 2020. *A Voz da Indústria [online]*. Disponible en: <https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/realidade-virtual-reduce-custos-da-ind-stria>

RIEMANN, T., KREß, A., ROTH, L., KLIPFEL, S., METTERNICH, J. y GRELL, P., 2020, **Agile Implementation of Virtual Reality in Learning Factories**. *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 45, p. 1-6. DOI 10.1016/j.promfg.2020.04.029. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.029>

RÜCKERT, P., WOHLFROMM, L. y TRACHT, K., 2018, **Implementation of virtual reality systems for simulation of human-robot collaboration**. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 19, p. 164-170. DOI 10.1016/j.promfg.2018.01.023. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.023>

SÁNCHEZ-CABRERO, R., COSTA-ROMÁN, O., PERICACHO-GÓMEZ, F. J., NOVILLO-LÓPEZ, M. A., ARIGITA-GARCÍA, A. y BARRIENTOS-FERNÁNDEZ, A., 2019, **Early virtual reality adopters in Spain: sociodemographic profile and interest in the use of virtual reality as a learning tool**. *Heliyon*. 2019. Vol. 5, no. 3, p. e01338. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e01338.

Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01338>

SANTOS, B. P., ALBERTO, A., LIMA, T. D. F. M. y CHARRUA-SANTOS, F. M. B., 2020, **Revista Produção e Desenvolvimento**. *Revistas.cefet-rj.br* [en línea]. 2020. [Acceso 20 septiembre 2020]. Disponible en: <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>

SNYDER, H., 2019, Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**. 2019. Vol. 104, p. 333-339. DOI 10.1016/j.jbusres.2019.07.039. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

Stepping into the virtual world to enhance aircraft maintenance, 2020. Airbus [online]. Disponible en: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/stepping-into-the-virtual-world-to-enhance-aircraft-maintenance-.html>

VALDÉZ DE LEÓN, LUIS CARLOS, 2019, **Industrias Peñoles pionero de la realidad virtual en México**. Milenio [en línea]. 2019. [Acceso 8 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.milenio.com/negocios/industrias-penoles-pionero-realidad-virtual-mexico>

WENTZEL, MARINA, 2020, **Como o Brasil pode se preparar para a economia do futuro**. BBC News Brasil [en línea]. 2020. [Acceso 8 octubre 2020]. Disponible en: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/01/160122_quarta_revolucao_industrial_mw_ab

WOLFARTSBERGER, J., ZENISEK, J. y SIEVI, C., 2018, **Chances y Limitations of a Virtual Reality-supported Tool for Decision Making in Industrial Engineering**. IFAC-Papers Online. 2018. Vol. 51, no. 11, p. 637-642. DOI 10.1016/j.ifacol.2018.08.390. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.390>

WOLFARTSBERGER, J., ZENISEK, J. y WILD, N., 2020, **Supporting Teamwork in Industrial Virtual Reality Applications**. *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 42, p. 2-7. DOI 10.1016/j.promfg.2020.02.016. Elsevier BV. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920305552>

YAP, H.J., TAN, C. H., PHOON, S. Y., LIEW, K. E. y CHANDRA SEKARAN, S., 2019, **Process planning and scheduling for loop layout robotic workcell using virtual reality technology**. **Advances in Mechanical Engineering**. 2019. Vol. 11, no. 9, p. 168781401987832. DOI 10.1177/1687814019878326. SAGE Publications. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1687814019878326>

ZHANG, HUI, 2017, Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. **International Journal of Mining Science and Technology**. 2017. Vol. 27, no. 4, p. 717-722. DOI 10.1016/j.ijmst.2017.05.005. Elsevier BV. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>